

ВЫВОД ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ БЕТАТРОНА НА 15 Мэв ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Б. А. КОНОНОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Источником электронов высокой энергии ($5 \div 25$ Мэв) может быть бетатрон с приспособлением для вывода электронов из камеры ускорителя в атмосферу. Проблема вывода заключается в том, чтобы электроны, движущиеся в камере бетатрона по круговой орбите, направить в определенном месте по касательной к ней. В Томском политехническом институте эта задача решена, в частности, отклонением электронов в электрическом поле конденсатора.

В конце ускорительного цикла электроны смещаются обмоткой, усиливающей поток в центральном сердечнике полюса бетатрона, до границы неустойчивости, т. е. окружности, где электроны выходят из области действия фокусирующих сил магнитного поля. Шаг их спиральной траектории резко возрастает, становится достаточным для обхода лобовой поверхности внутренней (отсекающей) пластины отклоняющего конденсатора. Электроны, пройдя отклоняющее поле, освобождаются от действия управляющего магнитного поля и выходят из ускорительной камеры в атмосферу.

На рис. 1 представлен горизонтальный разрез по средней плоскости ускорителя (схематично), где видно взаимное расположение основных узлов камеры для вывода электронов.

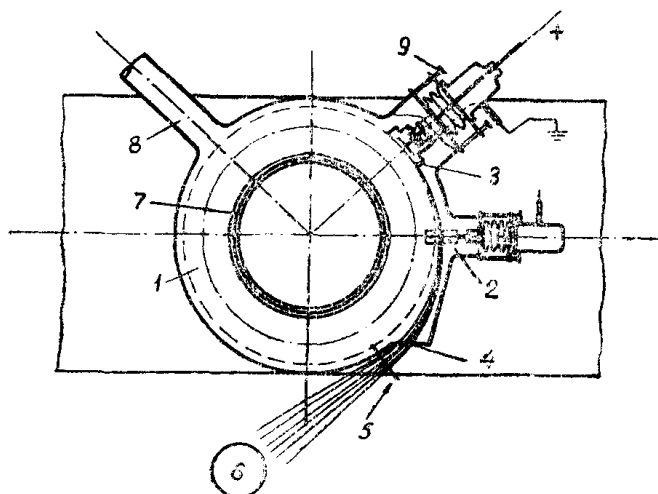


Рис. 1. Горизонтальное сечение вакуумной камеры для вывода электронов. 1—вакуумная камера, 2—надорбитный инжектор, 3—отклоняющий конденсатор, 4—выходное окно, 5—флюоресцирующий экран, 6—ионизационная камера или цилиндр Фарадея, 7—расширительная обмотка, 8—откачной патрубок, 9—болт 1.

Вакуумная камера. Вакуумная камера изготовлена из молибденового стекла толщиной 3 мм (рис. 2) и имеет патрубок для инжектора, патрубок для установки отклоняющего конденсатора, выводное окно и патрубок для откачки. Патрубок для отклоняющего конденсатора имеет эллипти-

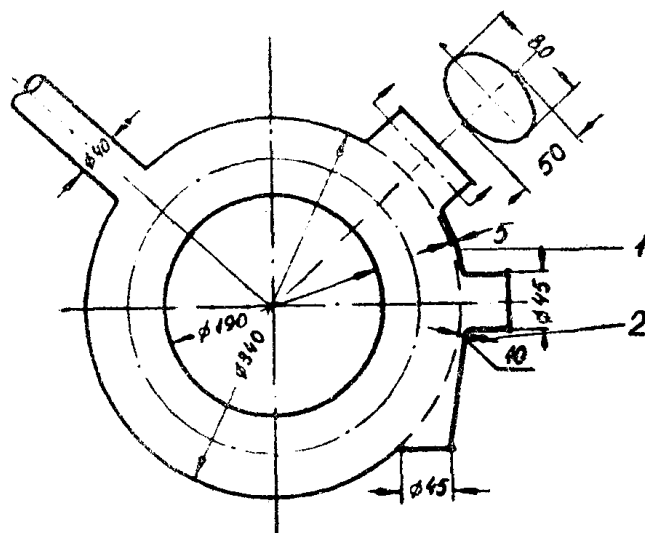


Рис. 2. Вакуумная камера

ческое сечение с горизонтальной осью 80 мм и вертикальной—50 мм. При изготовлении вакуумной камеры особая тщательность требуется во время приварки патрубков: не должно быть наплывов и выступов внутри камеры. Наружный радиус камеры равен 170 мм, а радиус граничной окружности равен 163 мм; учитывая толщину стеклянной стенки 3 мм, получим, что от граничной окружности до стенки камеры всего лишь 4 мм. Если допустить наплыв стекла внутрь камеры, то пучок электронов может не попасть в отклоняющий конденсатор, расположенный на радиусе 165 мм, а затормозится в выступающем внутрь стекле. Для устранения этой опасности и для создания пути отклоненному пучку электронов стенка камеры в местах 1 и 2 отдута наружу соответственно на 5 и 10 мм. Внутренняя поверхность камеры покрыта тонким слоем серебра, который заземлен для предохранения от накопления статического заряда на поверхности стекла.

Инжектор. Обычный трехэлектродный инжектор (рис. 3) устанавливается на радиусе, где $n=1$, но выше средней плоскости на 7 мм,

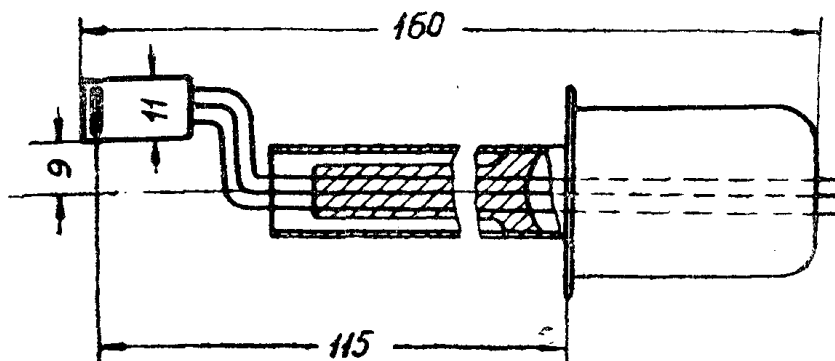


Рис. 3. Надорбитный инжектор.

так что он не мешает выходящему пучку электронов. Установка инжектора на сильфоне упрощает настройку ускорителя на максимальное излу-

чение. Однако после определения оптимального положения инжектора сильфон становится лишним и от него следует отказаться, установив инжектор на укороченном стеклянном цоколе.

Выводное окно. Выводной патрубком заглушается латунным фланцем (рис. 4) с семью ячейками, закрытыми алюминиевой вакуумплотной фольгой, толщиной 0,03 мм. Размер пучка электронов на выходе таков, что все электроны без потерь могут пройти

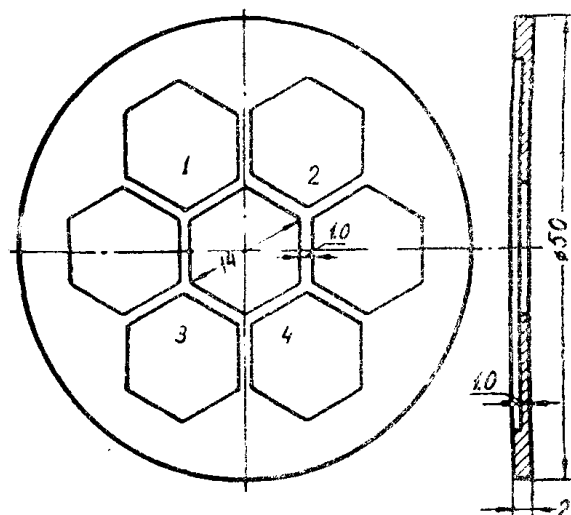


Рис. 4. Выводное окно.

сквозь одну ячейку. Однако при различных энергиях ускоренных электронов может потребоваться та или иная ячейка. Через ячейки 1, 2, 3 и 4 пучок не выходит, но они не лишни, так как уменьшают массу латунного фланца, находящегося в сильном магнитном поле. Алюминиевая фольга толщиной 0,030 мм мало рассеивает пучок электронов и достаточно прочна, чтобы выдерживать атмосферное давление при размерах ячейки, указанных на чертеже, и при тщательном скруглении граней ячеек. Фольга присоединяется к латунному фланцу с помощью битума № 4. Методика присоединения фольги следующая. Лист фольги несколько больших размеров,

чем латунный фланец, укладывается на гладкую металлическую пластину, которая подогревается снизу. Латунный фланец разогревается, и поверхность его, на которую ляжет фольга, покрывается по возможности тонким слоем битума. Затем фланец накладывается на фольгу, и пластину подогревается снизу до тех пор, пока битум на фланце не расплавится, после чего фланец плотно прижимается к фольге и охлаждается. При таком методе соединения фольга ложится ровным слоем, без морщин, и может работать долго без опасности течи или разрыва. Когда фланец охладится, лишняя фольга обрезается, и можно приступить к припайке фланца и выходному отверстию камеры. Методика этого соединения подобна обычному соединению двух фланцев битумом: оба фланца разогреваются, покрываются битумом, соединяются друг с другом, и битум оплавляется. Единственное условие при этом—ячейки должны быть в средней плоскости.

Отклоняющий конденсатор. Отклоняющий конденсатор (рис. 5) представляет собой две пластины, отстоящие друг от друга на 2,5—3,2 мм и укрепленные на стеклянном цоколе. Тонкая отсекающая пластина заземляется, на другую пластину (назовем ее внешней, как расположенную на большем радиусе, чем отсекающая пластина) подается напряжение до 30 кв.

Стеклянный цоколь, на котором укреплены пластины, подобен цоколю инжектора, но с несколько увеличенными разрядными поверхностями для уменьшения вероятности коронирования.

Отсекающую пластину желательно иметь минимально тонкой, чтобы уменьшить потерю электронов на лобовой поверхности входящего в конденсатор электронного пучка. Однако к пластине предъявляется требование механической прочности, поэтому она не может быть взята бесконечно тонкой. Кроме того, требуемая электрическая прочность промежутка между пластинами определяет материалы, из которых могут быть изготовлены пластины. В нашем случае отсекающая пластина изготовлена из танталовой

фольги толщиной 0,05 мм, которая приварена к каркасу из нержавеющей стали. Нужно заметить, что фольга приваривалась к каркасу лишь после того, как он был полностью готов, т. е. сварен, зашлифован и выгнут соответствующим образом. При этом порядке изготовления деформация фольги будет минимальной. Пластина крепится на стеклянном цоколе на двух кольцах, изолированных друг от друга, для того, чтобы крепежные детали и пластина не образовывали замкнутой петли в магнитном поле.

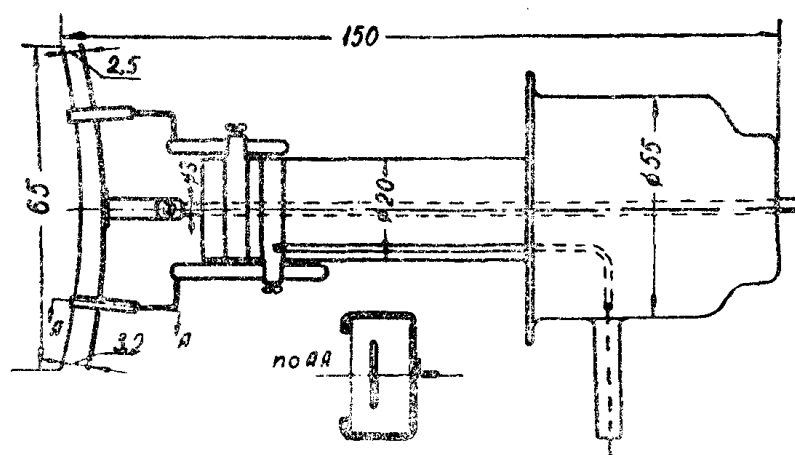


Рис. 5. Отклоняющий конденсатор.

Внешняя пластина изготовлена из листовой нержавеющей стали толщиной 1 мм, поверхность и края которой тщательно отполированы. Вертикальный размер пластины был выбран после определения размеров электронного пучка в предположении, что пучок должен двигаться в равномерном электрическом поле, не ослабленном на краях пластин значительным рассеянием. Пластина крепится на 3-миллиметровом молибденовом электроде, вваренном в стеклянный цоколь.

Регулировка положения пластин не требует больших затрат времени, так как соединения пластин с цоколем подвижны. Отклоняющий конденсатор установлен на сильфоне и регулировка положения конденсатора в камере может осуществляться либо вручную, либо с помощью сельсиновых датчиков, управление которыми может быть вынесено на пульт управления.

Схема питания отклоняющего конденсатора. Питание отклоняющего конденсатора не может осуществляться постоянным напряжением, так как в момент инжекции почти все электроны будут сброшены на стенку камеры сильным электрическим полем. Поэтому питание конденсатора (рис. 6) осуществляется от пикового трансформатора, дающего импульс напряжения длительностью около 500 мксек, амплитудой до 50 кВ. Такой импульс подается на конденсатор в момент смещения и не влияет на процесс захвата электро-

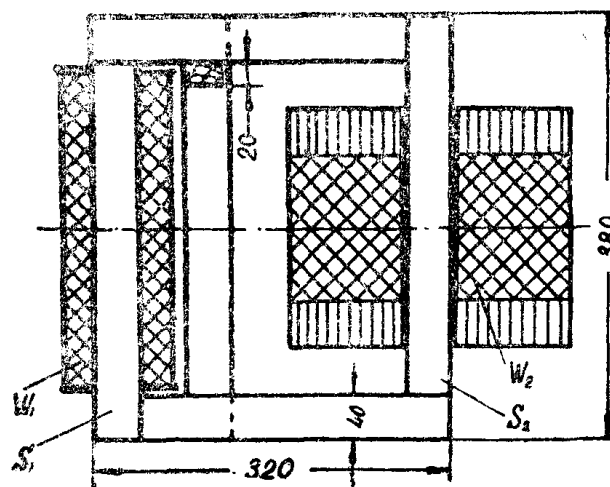


Рис. 6. Пиковый трансформатор на 50 кВ.

нов в ускорение. Пиковый трансформатор имеет 250 витков в первичной обмотке и 60000—во вторичной и сечение железа сердечника соответственно 40 см^2 и 4 см^2 . Воздушный зазор магнитного шунти $\delta = 2,0 \text{ см}$.

Трансформатор устанавливается на кронштейнах, привинченных к подставке бетатрона так, чтобы сократить до минимума длину проводников, подводящих высокое напряжение к отклоняющему конденсатору. Начало вторичной обмотки, находящееся у железного сердечника, заземляется, внешний конец обмотки соединен с центральным электродом конденсатора. Питается пиковый трансформатор от сети переменного тока через фазовращательную схему (рис. 7), служащую для изменения фазы пика напряжения на отклоняющем конденсаторе относительно импульса смеще-

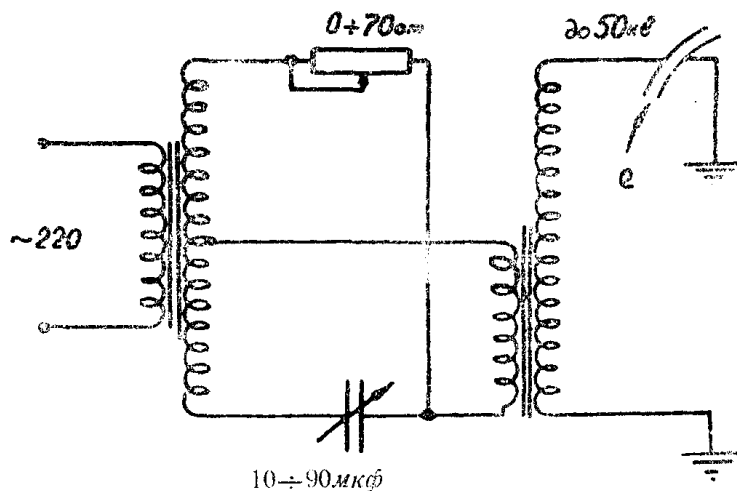


Рис. 7. Схема питания пикового трансформатора.

ния. Меняя величину емкости от 10 до 90 мкф , можно изменять фазу пика в пределах 80 электрических градусов ступенями примерно через 10 электрических градусов. Плавное перемещение фазы в пределах одной ступени обеспечивается переменным сопротивлением 70 ом . Регулирование величины напряжения на отклоняющем конденсаторе осуществляется через автотрансформатор. Конструктивно схема питания пикового трансформатора представляет отдельный блок.

Контроль напряжения на отклоняющих пластинах осуществляется с помощью омического делителя напряжения и осциллографа типа ЭО-7, на котором можно наблюдать форму подаваемого на пластину импульса напряжения, фазу его относительно импульса смещения и величину напряжения в киловольтах (после градуировки делителя напряжения).

Как было указано выше, отклоняющий конденсатор устанавливается на радиусе $R = 163 \text{ мм}$ (радиус граничной окружности для данного ускорителя). При плавном повышении напряжения на пластинах конденсатора всегда наблюдался вывод электронов, который регистрировался тонкостенной ионизационной камерой, как показано на рис. 1. В дальнейшем требуется подстройка отклоняющего устройства для получения максимальной интенсивности выведенного пучка. На рис. 8 представлена зависимость выхода электронов от перемещения конденсатора в радиальном направлении. По оси ординат откладывается выход в произвольных единицах, по оси абсцисс—перемещение конденсатора Δr в оборотах винтов сильфона (2 оборота соответствуют 1 мм перемещения). Зависимость выхода от угла поворота конденсатора представлена на рис. 9 для случая оптимального радиального положения. По оси абсцисс отложены обороты винта 1 (рис. 1), обеспечивающего поворот конденсатора.

Рис. 8. Зависимость выхода от радиального положения конденсатора.

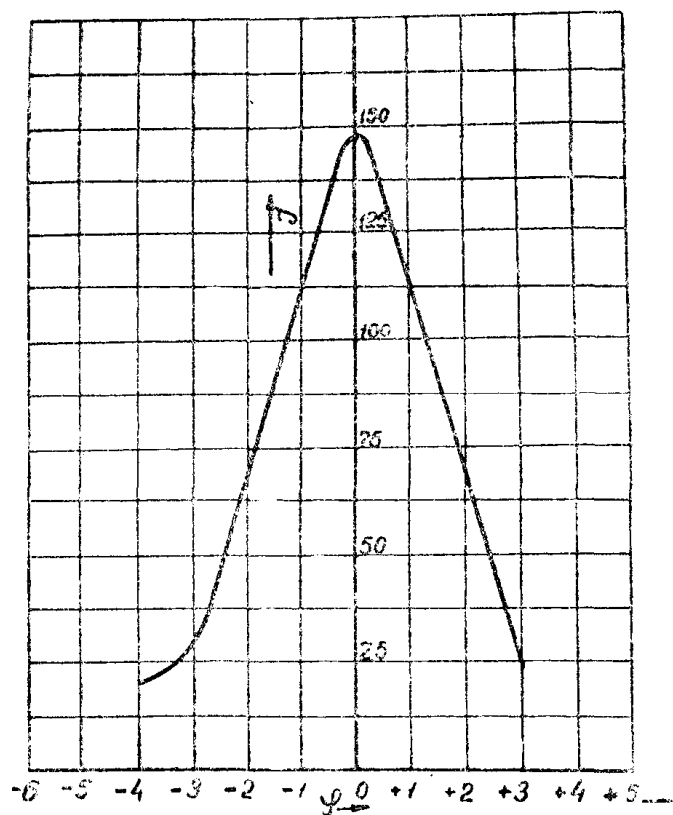
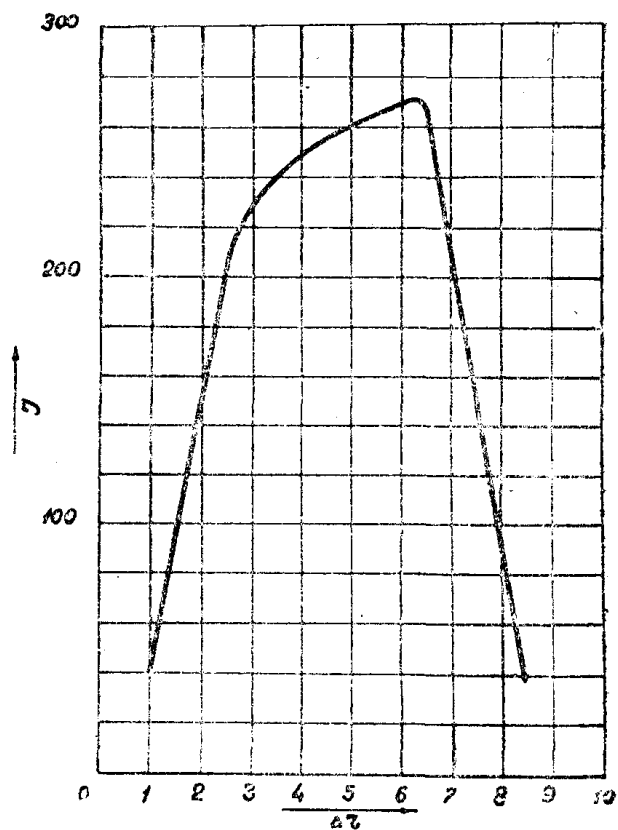


Рис. 9. Зависимость выхода от угла поворота конденсатора.

Обнаружение вывода электронов производится как с помощью тонкостенной ионизационной камеры, установленной в месте предполагаемого пути электронов в атмосфере, так и с помощью флюоресцирующего экрана, установленного вблизи выходного окна (рис. 1). Выходящий электронный пучок дает на экране яркое пятно, которое можно наблюдать с помощью перископа непосредственно с пульта управления. Перемещая такой экран от выходного окна можно быстро определить путь электронного пучка.

Помещая на пути пучка электронов фотобумагу (или фотопленку), можно определить размеры пучка и угол расходимости его. На расстоянии 2 см от выходного окна пучок в сечении имеет вид прямоугольника со скругленными углами; размеры его в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно равны 12 и 7 мм. На расстоянии 17 см от окна сечение пучка увеличивается до 35×20 мм. Отсюда угол расходимости пучка в горизонтальной плоскости $8,5^\circ$ и в вертикальной 5° .

Ток выведенного пучка измеряется экранированным графитовым цилиндром Фарадея с гальванометром. Величина тока $4 \cdot 10^{-9}$ а была наибольшей для данного бетатрона. Интенсивность рентгеновского излучения вблизи выходного окна, замеренная наперстковой камерой, составляет около 3500 рентген в минуту. Приведенные цифры относятся к энергии электронов 5 Мэв. При энергии 10 и 13 Мэв фокусировка выведенного пучка лучше, однако ток несколько меньше. Энергия электронов контролировалась по пробегу их в алюминии.